

# QUÍMICA E BIOQUÍMICA:

fundamentos e aplicações 4



CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA  
(Organizador)

  
Ano 2024

# QUÍMICA E BIOQUÍMICA:

fundamentos e aplicações 4



CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA  
(Organizador)

**Atena**  
Editora  
Ano 2024

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2024 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2024 Os autores

Copyright da edição © 2024 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Colégio Militar Dr. José Aluisio da Silva Luz / Colégio Santa Cruz de Araguaia/TO

Profª Drª Cristina Aledi Felseburgh – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Diogo Peixoto Cordova – Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Hauster Maximiler Campos de Paula – Universidade Federal de Viçosa

Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Drª Jéssica Barbosa da Silva do Nascimento – Universidade Estadual de Santa Cruz

Profª Drª Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Leonardo França da Silva – Universidade Federal de Viçosa

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira – Universidade Federal do Espírito Santo

Profª Drª Maria Iaponeide Fernandes Macêdo – Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas

Profª Drª Mariana Natale Fiorelli Fabiche – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Profª Drª Priscila Natasha Kinas – Universidade do Estado de Santa Catarina

Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Rafael Pacheco dos Santos – Universidade do Estado de Santa Catarina

Prof. Dr. Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

**Diagramação:** Ellen Addressa Kubisty  
**Correção:** Maiara Ferreira  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)</b>	
Q6	<p>Química e tecnologia: avanços que moldam o mundo contemporâneo 4 / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-2616-5 DOI: <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.165241207">https://doi.org/10.22533/at.ed.165241207</a></p> <p>1. Química. 2. Tecnologia. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 540</p>
<b>Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166</b>	

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

O e-book: “Química e tecnologia avanços que moldam o mundo contemporâneo 4” é constituído por quatro capítulos de livros, a saber: i) monitoramento da qualidade da água por aplicativo de celular; ii) influência do processo de filtragem na determinação de filtros UV em esgoto doméstico; iii) desenvolvimento de biossorvente para a remoção do hormônio estrona em matrizes aquosas e; iv) desenvolvimento de cartão Noviplex para a determinação de mercúrio em amostras contendo risco biológico.

O primeiro capítulo investigou a interação de estudantes do ensino médio no monitoramento participativo em relação a questões ambientais, em especial voltadas para a poluição de rios. Os autores se utilizaram de um aplicativo denominado AQUA que realiza georreferenciamento, detecção e identificação de inúmeros parâmetros físico-químicos. Os resultados demonstram uma participação ativa e colaborativa dos alunos no processo de monitoramento da qualidade de corpos d’água.


O capítulo 2 analisou a influência do processo de filtração de amostras na quantificação de octocrileno e oxibenzona em amostras de esgoto. Os pesquisadores verificaram que as etapas preliminares de preparo de amostra para injeção no GC-MS influenciam diretamente na concentração dos analitos de interesse ambiental, devendo se considerar etapas de dissolução e de adsorção no material em suspensão.

O terceiro capítulo avaliou a capacidade de adsorção do hormônio estrona a partir de um biochar obtido por meio da pirólise da casca de arroz. Os resultados demonstraram que o biossorvente possui capacidade de ser utilizado em larga escala em função do seu baixo custo, abundância e redução de um passivo ambiental que prejudica o meio ambiente.

Por fim, o capítulo 4 investigou o desenvolvimento de um novo método para amostragem de amostras (sangue/plasma humano e peixes) contaminados com mercúrio. Os resultados apontaram que os cartões Noviplex podem ser utilizados com eficiência e apresentam um limite de detecção e quantificação, respectivamente, de 12 a 43  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Constituindo-se em um método robusto para amostras com risco biológico de contaminação.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando de forma a estimular e incentivar cada vez mais pesquisadores do Brasil e de outros países, a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos científicos.



<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
MONITORAMENTO PARTICIPATIVO DA QUALIDADE DA ÁGUA DOS CORPOS HÍDRICOS	
Flávio Gomes Figueira Camacho	
Tassius Nicholas Santos Porfirio	
Marcelo Nepomoceno Kapp	
Marcela Boroski	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.1652412071">https://doi.org/10.22533/at.ed.1652412071</a>	
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>3</b>
EFEITO DA FILTRAÇÃO NA DETERMINAÇÃO DE FILTROS UV EM ESGOTO DOMÉSTICO POR LLE - GC/MS	
Ana Paula Stefanelo e Silva	
Maria Alice Farias da Silva Amaral	
Mirian Dosolina Fusinato	
Pedro José Sanches Filho	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.1652412072">https://doi.org/10.22533/at.ed.1652412072</a>	
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>10</b>
APLICAÇÃO DO BIOCHAR OBTIDO DA PIRÓLISE DA CASCA DE ARROZ NA REMOÇÃO DE ESTRONA DE MATRIZES AQUOSAS	
Ana Paula Stefanelo e Silva	
Maria Alice Farias da Silva Amaral	
Pedro José Sanches Filho	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.1652412073">https://doi.org/10.22533/at.ed.1652412073</a>	
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>15</b>
MERCURY DETERMINATIONS IN BIOHAZARD SAMPLES BY GFAAS USING NOVIPLEX CARD SAMPLING	
Emerson Carlos de Almeida	
Nubya Gonçalves Cavallini	
Joyce Andrade da Silva	
Luane Benedita Gonçalves Andrade	
Camila Pereira Braga	
Jiri Adamec	
Pedro de Magalhães Padilha	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.1652412074">https://doi.org/10.22533/at.ed.1652412074</a>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR .....</b>	<b>28</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO .....</b>	<b>29</b>

## MONITORAMENTO PARTICIPATIVO DA QUALIDADE DA ÁGUA DOS CORPOS HÍDRICOS

*Data de aceite: 01/07/2024*

### **Flávio Gomes Figueira Camacho**

Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Parque Tecnológico Itaipu  
Foz do Iguaçu/PR - Brasil

### **Tassius Nicholas Santos Porfirio**

Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Parque Tecnológico Itaipu  
Foz do Iguaçu/PR - Brasil

### **Marcelo Nepomoceno Kapp**

Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Parque Tecnológico Itaipu  
Foz do Iguaçu/PR - Brasil

### **Marcela Boroski**

Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Parque Tecnológico Itaipu  
Foz do Iguaçu/PR - Brasil

**PALAVRAS-CHAVE:** Engajamento Ambiental, Monitoramento Participativo, Corpos Hídricos

Diversas abordagens têm sido empregadas para supervisionar a

qualidade da água em corpos d'água. O monitoramento participativo dessas áreas busca envolver a comunidade no processo de coleta de dados, os quais podem ser utilizados pelas autoridades competentes para a implementação de medidas visando a recuperação e manutenção da qualidade da água, assim como para estratégias de educação ambiental. A promoção de ações direcionadas à conscientização da população local e à vigilância da qualidade da água dos rios representa uma das formas fundamentais de preservação desse recurso crucial. No âmbito desse envolvimento da comunidade, destaca-se o monitoramento participativo de rios.

O nosso projeto fundamenta-se no princípio “Jovem educa Jovem”, buscando aproximar os jovens das questões ambientais relacionadas à poluição dos rios. Por meio do aplicativo para celular denominado “AQUA”, que combina detecção e georreferenciamento, e de kits miniaturizados colorimétricos para identificação de nitrito, matéria orgânica, ortofosfato, amônia e ferro, almejamos

estabelecer uma rede de monitoramento participativo em rios e corpos d'água próximos a instituições de ensino. Isso será alcançado através da utilização do aplicativo e do engajamento de estudantes e professores no processo.

Já foi feita uma demonstração do projeto para os alunos do ensino médio em 21/11/2022 no Colégio Estadual Cataratas do Iguaçu situado na cidade de Foz do Iguaçu/PR, e entre 17/05/2023 e 23/05/2023 foi feita uma Oficina: Uso de ferramentas de baixo custo para monitoramento de rios, Rio Boicy também na cidade de Foz do Iguaçu/PR.

O aplicativo armazena todos os dados já georreferenciados na nuvem, em um bando de dados público, onde outros pesquisadores, ou entidades interessadas podem ter acesso, ele pode ser baixado e instalado diretamente através da Google Play aumentando o engajamento dos jovens.

O projeto já desenvolveu uma caixa de captura de imagens, que é um dispositivo de baixo custo que proporciona a todos a oportunidade de realizar a análise de determinadas substâncias em mananciais e rios. O seu manuseio é bastante simples, envolvendo apenas a adição da substância ou amostra no menisco aferido no tubo. Em seguida, basta ligar a luz de LED na caixa e posicionar o tubo no suporte dentro dela. Após esse procedimento, é possível acessar o aplicativo AQUA no próprio smartphone e realizar a captura das imagens.

Disponibilizamos uma página web com todos os procedimentos operacionais padrão (POPs), vídeos demonstrativos, e farta documentação.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal da Integração Latino-americana, ao laboratório LEIMAA e seus integrantes por sua estrutura e apoio oferecidos.

## REFERÊNCIAS

Baldaso, B. **Desenvolvimento de aplicativo para monitoramento participativo de mananciais**. 2021, 80 p. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Química – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2021.

Ghellere, J. G.; Baldasso, B; Silvia, S.; Kapp, N. M.; BOROSKI, M. **Desenvolvimento de kits de baixo custo para detecção de compostos para monitoramento participativo de mananciais (rios)**. In: EICTI 2021 - X Encontro Anual de Iniciação Científica e VI Encontro de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, 2021, Foz do Iguaçu. *Anais [...]*. Foz do Iguaçu: Universidade Federal de Integração Latino-americana, 2021. p. 48.

# EFEITO DA FILTRAÇÃO NA DETERMINAÇÃO DE FILTROS UV EM ESGOTO DOMÉSTICO POR LLE - GC/MS

*Data de aceite: 01/07/2024*

### **Ana Paula Stefanelo e Silva**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense  
Pelotas/RS

### **Maria Alice Farias da Silva Amaral**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense  
Pelotas/RS

### **Mirian Dosolina Fusinato**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense  
Pelotas/RS

### **Pedro José Sanches Filho**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense  
Pelotas/RS

**PALAVRAS-CHAVE:** Contaminantes Emergentes; Filtração; Octocrileno; Oxibenzona

## **INTRODUÇÃO**

A falta de saneamento básico é um dos obstáculos mais complexos que refletem na qualidade dos recursos hídricos naturais. Compostos como

octocrileno (OC) e oxibenzona (BP-3-TMS) presentes em protetores solares, considerados contaminantes emergentes, possuem capacidade de passar pelos métodos tradicionais de tratamento de água, resultando em seu despejo junto do esgotamento sanitário em rios, lagos e nascentes, repercutindo negativamente, tanto na biodiversidade, quanto na saúde e bem-estar públicos (Gago-Ferreiro et al., 2011). Sua presença no meio hídrico pode trazer diversos problemas como redução dos níveis na radiação solar, redução da atividade fotossintética, diminuição na transparência da água, entre demais fatores relacionados a saúde humana funcionando como disruptor endócrino e exercendo assim uma ação farmacológica mesmo em baixas concentrações além da contaminação de aquíferos quando lançado no solo direta ou indiretamente (Ferreira & Sanches Filho, 2020; Santos, 2018). Na determinação destes compostos, metodologias analíticas envolvem etapas de filtração, pré-concentração, clean up, que podem influenciar diretamente

no resultado final. Este estudo teve por objetivo avaliar influência da etapa previa de filtração das amostras de esgoto na determinação dos níveis de octocrileno e oxibenzona, combinando LLE, derivatização e determinação GC-MS.

## METODOLOGIA



Figura 1: pontos amostrais: Estação para Tratamento de Esgoto – Fragata (ETE), entrada da estação; Esgoto Bruto (EGB): 31°45'03,85"S / 52°21'43,40"O

Para determinação dos compostos foi utilizado um cromatógrafo a gás acoplado a um espectrômetro de massas MODELO QP2010 ULTRA, SHIMADZU, equipado com uma coluna Rtx-5MS (30,0 m x 0,25 mm d.i. x 0,25  $\mu$ m - Ohio Valley Specialty Company, Marietta, Ohio, EUA). A injeção (1  $\mu$ L) foi executada em modo splitless com purga de 2 mL min<sup>-1</sup> e fluxo do gás de arraste (Hélio ultrapuro) 1 mL min<sup>-1</sup>. A temperatura do injetor e interface foi de 280 °C, com temperatura da fonte de íons de 200 °C. A temperatura do forno foi programada na seguinte sequência: Temperatura inicial de 100 °C mantida durante 2 min, aumentando 8 °C min<sup>-1</sup> até a temperatura final de 300 °C, permanecendo por 15 min.

Os espectros de massas foram obtidos em modo SCAN, através de eletro-ionização a 70 eV. A programação do forno foi feita com base nos estudos de Ferreira & Sanches Filho (2020). Os dados foram tratados pelo software GC/MS solution 2.6 (SHIMADZU, JAPÃO) e os compostos foram identificados usando-se a biblioteca NIST-05, considerando similaridades superiores a 80%.

A coleta foi realizada inverno (junho) de 2023.

A posição exata de cada ponto de amostragem (Figura 1) foi definida por medições de GPS (GPS, Global Positioning System, equipamento Garmin & ETrex®, precisão de  $\pm$  15 m).

A quantificação foi feita através por calibração externa, considerando área referente ao cromatograma dos íons de quantificação m/z 285 (BP-3TMS) e 249 (OC) com íons de confirmação 242;285 e 300 (BP-3TMS) e 361 (OC), para confirmação, definidos a partir da avaliação espectro de massas do octocrileno e oxibenzona.

Extratos e padrões, a serem derivatizados, foram transferido para frascos de 1,0 mL, onde foram adicionados 0,5 mL de diclorometano, e 60,0  $\mu$ L de N-trimetilsilil-N-metiltrifluoroacetamida (MSTFA, Sigma – Aldrich)), 20,0  $\mu$ L de piridina (grau de pureza  $\geq$  99,50% - Merck®, Darmstadt, Germany ) mantidos a 80 °C, em banho de areia, por 30 minutos) (ORATA, 2012) O volume foi corrigido com diclorometano (DCM grau de pureza  $>99,0\%$ - Synth® São Paulo, Brasil) a 1,0 mL e analisados por GC/MS.

As amostras de Esgoto Doméstico Bruto (EGB) foram coletados na entrada e na saída da estação de tratamento de esgoto ETE-Fragata-Pelotas-RS-BRAZIL apresentada na Figura1.

As amostras de esgoto foram obtidas, da estação de tratamento de esgoto ETE-Fragata-Pelotas-RS-BR. Os efluentes de esgoto são tratados por meio da lagoa de estabilização, com zonas tipo “wetlands”, possui uma área de quatro hectares e sua capacidade é de 7.500 m<sup>3</sup> por dia. O esgoto considerado tratado é lançado no canal Santa Bárbara e após para o Canal São Gonçalo (FERREIRA & SANHES FILHO, 2020).

As amostras de efluente coletadas (1000 mL) foram acondicionadas em frascos de vidro previamente limpos, mantidas sob refrigeração a 4°C e transportados até o laboratório de contaminantes ambientais (LACA-IFSUL). As amostras antes das análises foram filtradas com papel filtro, para que se retirassem os resíduos sólidos suspensos.

## Preparo das amostras

As amostras foram separadas em dois grupos conforme a Figura 2, um com filtração e outro sem esta etapa.

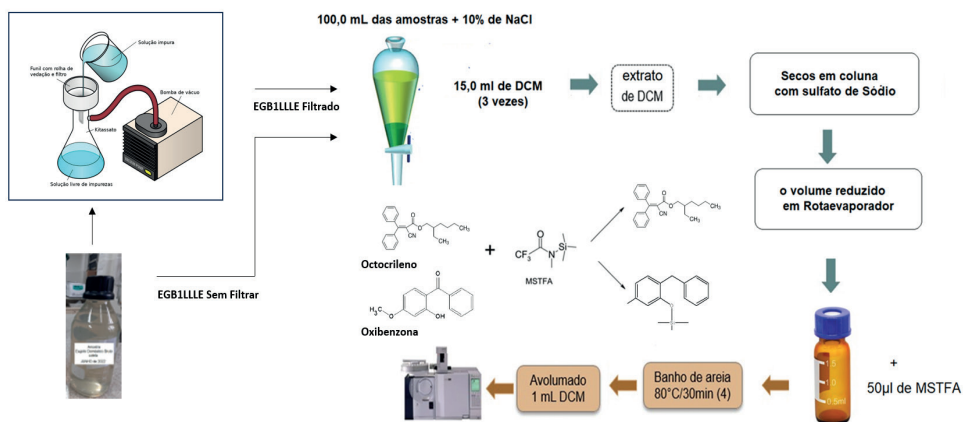


Figura 2 – Preparo das amostras por diferentes métodos

100mL foram filtrados sob vácuo com papel filtro quantitativo azul (J. PROLAB®), em vidraria kitassatu sob vácuo e 100mL da mesma da amostra foi adicionado ditteramenteem funil de separação de 250mL em forma de pera com pistão de PTFE (politetrafluoretileno). Posteriormente, as amostras foi adicionado 10% de NaCl e submetidos à extração líquido-líquido com DCM com três porções de 15,0 mL de DCM (EPA METHOD 1698). Os extratos foram reunidos e a água residual foi retida em colunas de sulfato de sódio anidro. Os extratos de DCM foram concentrados a menos de 1,0 mL e derivatizados, seguindo para análise por GC/MS.

## Validação do Método Cromatográfico

A linearidade foi avaliada através da construção de curva de calibração numa faixa de 0,2 a 20,0 mg L<sup>-1</sup> obtidos por derivatização e diluição da solução estoque obtida a partir da dissolução em DCM, do reagente Octacrileno (OC) ≥ 98.00% GC e Oxibenzona (BP-3-TMS) ≥ 98.00% GC (Merck®, <https://www.sigmaaldrich.com>).

Os estudos de precisão foram determinados através do cálculo do desvio padrão relativo das áreas obtidas a partir da repetição de 5 vezes do padrão de 1,0 mg L<sup>-1</sup> (INMETRO, 2020). Os limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) foram calculados com base na análise do sinal de brancos considerando 3 vezes desvio padrão para LD e 10 vezes o desvio padrão para LQ e dividido pelo coeficiente angular das curvas analíticas respectivamente (INMETRO, 2020). Os brancos foram obtidos a partir de 0,5 mL de DCM derivatizados com MSTFA e piridina, conforme descrito no processo de derivatização.

A exatidão foi avaliada por meio do erro relativo, sendo este a diferença entre o valor encontrado a partir da curva analítica e o valor considerado verdadeiro, para o padrão de 1,0 mg L<sup>-1</sup>.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do exposto no Gráfico 1 é possível observar uma percentagem superior do composto analisado quando se refere ao esgoto bruto não filtrado em comparação ao esgoto bruto filtrado do octocrileno. Sugere-se que tal fato esteja intimamente ligado ao decréscimo do material em suspensão após a filtração do mesmo considerando o octocrileno (log Kow = 7,53) ser uma molécula mais apolar em comparação a oxibenzona (log Kow = 3,52), a qual não se observou diferença percentual significativa dado desvio padrão entre o esgoto bruto filtrado em comparação antes de sua filtração/extração LLE.

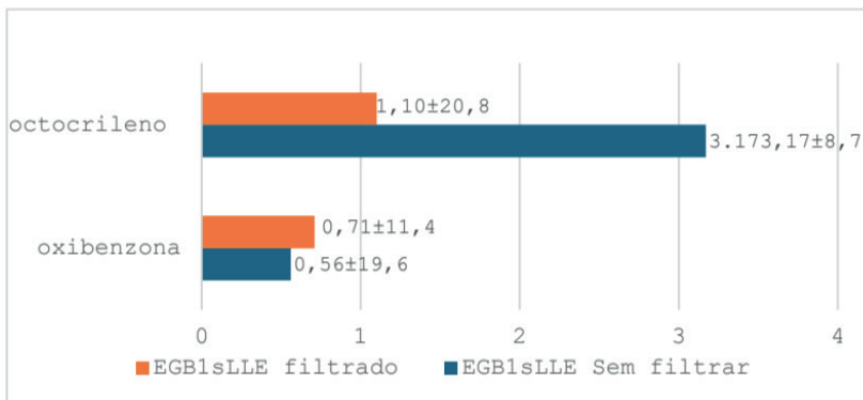


Gráfico 11 - Comparação entre amostras filtradas e sem previa filtração.  $\mu\text{L}^{-1} \pm \% \text{RSD}$ .

Composto	m/z	a	b	r	%RSD	ER%	LD* $\mu\text{g L}^{-1}$	LQ* $\mu\text{g L}^{-1}$
BP3-TMS	242.00	15.1	289.1	0,999	3.2	8.6	1,3	4.4
OC	249.00	4.5	-110.7	0,998	4.2	5.0	2.9	2.9

a: coeficiente angular; b: coeficiente linear; RSD desvio padrão relativo expresso em porcentagem; ER: erro relativo expresso em porcentagem; LD\* limite de detecção do método cromatográfico; LQ\* limite de quantificação do método cromatográfico.. BP3-TMS: oxibenzona ; OC: (octacrileno).

Tabela 1 – Figuras de mérito do método cromatográfico

Os resultados mostraram concordância com aqueles parâmetros exigidos pela agência de proteção ambiental dos estado unidos (USEPA, 1998). O equipamento apresentou uma resposta linear das curva construída, com coeficientes de correlação com resultados superiores a 0,9, o que também considera o método adequado, validando-o (INMETRO, 2020). Analisando os resultados para o coeficiente angular (a), observou-se uma maior sensibilidade do método analítico, em especial para a BP-TMS em comparação ao OC.

Sendo que, os analitos foram avaliados na faixa de  $\mu\text{gL}^{-1}$  que admite RSD% até 20% e ER% de até 15% (INMETRO,2020).



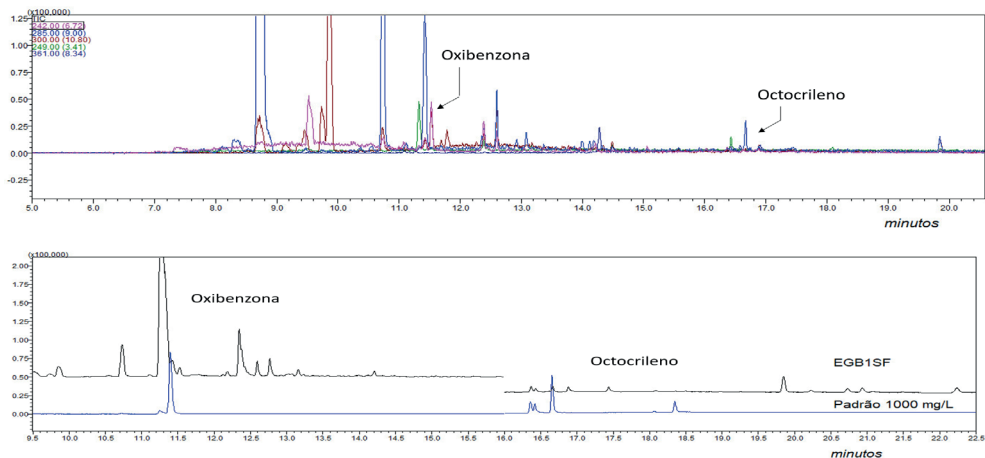


Figura 3: Cromatograma do Extrato de EGB.

A Figura 3 nos mostra um comparativo entre os cromatogramas EGB comparadas a padrão e 1000mg/L dos compostos fornecendo desta forma os tempos de saída e intensidade picos dos mesmos.

Desta forma o método analítico otimizado, combinando, extração Líquido-Líquido, silição e análise por GC/MS, permitiu a determinação de OC e BP-3-TMS e avaliar a eficiência do sistema da ETE no período estudado. Bem como o efeito a filtração sobre o processo.

## CONCLUSÕES

Conclui-se que a filtração desempenha papel importante dentre as etapas metodológicas a ser considerada durante a comparação de resultados por diferentes metodologias. O que chama atenção que para uma avaliação mais precisa dos níveis de determinados analitos como OC, devendo considerar estudos tanto da fase dissolvida na junto a matriz aquosa quanto na adsorvida no material em suspensão.

## REFERENCIAS

EPA – United States Environmental Protection Agency Office of Water Office of Science and Technology Engineering and Analysis Division (2007). Method 1698. Steroids and Hormones in Water, Soil, Sediment, and Biosolids by HRGC/HRMS. EPA-821-R-08-003, 64p.

FERREIRA, F S., & SANCHES FILHO, P. J. (2020). Otimização e validação de metodologia para determinação de hormônios sexuais em matrizes aquosas por SPE e GC/MS: determinação de hormônios sexuais em matrizes aquosas. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v.11 n.5, 2020, p.500-509. doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.005.0045.

Gago-Ferreiro, P.; Díaz-Cruz, M.S.; Barceló, D. Occurrence of multiclass UV filters in treated sewage sludge from wastewater treatment plants. Chemosphere. doi:10.1016/j.chemosphere.2011.04.003.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO. Orientação sobre validação de métodos analíticos. 2020. Disponível em: < [http://www.inmetro.gov.br/Sidoq/Arquivos/Cgcre/DOQ/DOQ-Cgcre-8\\_05.pdf](http://www.inmetro.gov.br/Sidoq/Arquivos/Cgcre/DOQ/DOQ-Cgcre-8_05.pdf)>

ORATA, FRANCIS. Derivatization reactions and reagents for gas chromatography analysis. *Advanced gas chromatography-Progress in agricultural, biomedical and industrial applications* 91, 2012.

SANTOS, E. F. Adsorção e mobilidade do diclofenaco e paracetamol em solo do agreste de Pernambuco. Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em tecnologias Energéticas e Nucleares para obtenção do título de Doutor em Ciências. Universidade Federal de Pernambuco, 2018. Disponível em: < <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/32748/1/TESE%20Eben%20a9zer%20de%20Fran%20Santos.pdf>>

# APLICAÇÃO DO BIOCHAR OBTIDO DA PIRÓLISE DA CASCA DE ARROZ NA REMOÇÃO DE ESTRONA DE MATRIZES AQUOSAS

*Data de aceite: 01/07/2024*

### **Ana Paula Stefanelo e Silva**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense -Pelotas/RS

### **Maria Alice Farias da Silva Amaral**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense -Pelotas/RS

### **Pedro José Sanches Filho**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense -Pelotas/RS

**PALAVRAS-CHAVE:** Biochar, Contaminantes emergentes, GC/MS, Casca de Arroz, Esgoto Sanitário, Pirólise.

## **INTRODUÇÃO**

A educação ambiental constitui valores para a conservação ambiental, bem como da inadequada utilização dos recursos naturais e o envolvimento em ações, essenciais a qualidade de vida e sustentabilidade (NARCHI, 2019).

A falta de saneamento básico é um dos obstáculos mais complexos que refletem na falta de qualidade dos recursos hídricos naturais, já que a gestão

inadequada dos efluentes domésticos resulta no despejo de esgotamento sanitário em rios, lagos e nascentes, sem o prévio tratamento necessário como demonstraram (BASTOS, 2021; MEDRONHA et al., 2013; PINTANEL et al., 2021; RODRIGUES et al., 2020), repercutindo negativamente, tanto na biodiversidade, quanto na saúde e bem-estar públicos.

Dentre estas substâncias destacam-se a estrona,  $\beta$ -estradiol e estriol, hormônios femininos presentes em esgotos domésticos e efluentes industriais a partir de produtos farmacêuticos, resíduos industriais, esgotos domésticos, descarte indevido de embalagens, volatilização durante o uso, entre outros, o que pode interferir no equilíbrio hormonal de organismos aquáticos, bem como na saúde humana uma vez que afetam o sistema endócrino, o qual é responsável por controlar a produção e liberação de hormônios junto ao corpo humano. A exposição a hormônios exógenos por exemplo (produtos farmacêuticos, pesticidas, etc.) afetam o equilíbrio hormonal do corpo humano (TEIXEIRA et al., 2018)

O estudo e a aplicação de novos métodos de remoção de desreguladores endócrinos em matrizes aquosas possui grande relevância atualmente, principalmente devido ao aumento na detecção de anomalias na saúde humana e animal, gerando risco tanto para o ecossistema quanto para a saúde humana uma vez que não são totalmente removidos pelos sistemas tradicionais de tratamento de água.

O beneficiamento do arroz é um processo fundamental na cadeia de produção, que visa a limpeza, separação, polimento e classificação, preparando o grão para consumo humano. Esse processo acontece após a colheita e é essencial para garantir a qualidade e valor comercial do arroz, sendo o Brasil um dos principais produtores agrícolas de arroz do mundo, com produção girando em torno a 10.282.517 toneladas em 2023 (IBGE, 2024). A casca do arroz representa o maior volume entre os subprodutos obtidos durante o beneficiamento. Ela é um resíduo que surge como solução para o aproveitamento de subprodutos, baseando-se no fato de utilizar o resíduo de uma atividade econômica. Além disso, seu destino inadequado pode gerar grandes passivos ambientais para a indústria. Quanto menor a massa específica da casca, mais oneroso será o transporte e armazenamento (Qui, et. al., 2022; ROSA et. al., 2022)

Neste cenário, o uso do biochar (BC) surge como uma possibilidade simples e de baixo custo para solucionar esses problemas. Por tal o objetivo deste estudo foi avaliar a capacidade de remoção de estrona de matrizes aquosas pelo BC.

## **METODOLOGIA**

O BC foi obtido através de pirólise lenta em reator de leito fixo, com 100g de casca de arroz, sob vazão de 60 ml min<sup>-1</sup> de Nitrogênio, à temperatura de 600°C e tempo de residência de 10 minutos. Para avaliação da capacidade de adsorção foram realizados dois procedimentos: em batelada (1g de BC) e em leito fixo (1 e 3 g de BC). Conforme apresentada na Figura, 1 ambos os estudos 100mL de soluções de água destilada fortificadas com 10 ugL<sup>-1</sup> de estrona foram submetidos aos ensaios de adsorção. Para batelada: avaliou-se através da agitação com 1,0 g de BC (granulometria em 0,125 e 0,063mm) a 25°C por 1 hora a 150 rpm. O BC foi separado por filtração e os analitos dessorvidos com acetona e diclorometano (DCM) sob ultrassom por 30 min. O extrato foi percolado em sulfato de sódio anidro, o volume reduzido em rota evaporador e a seguir derivatizado com N-trimetilsilil-N-metiltrifluoroacetamida (MSTFA), avolumados a 1ml em DCM, el analisados por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (GC/MS). A avaliação de leito fixo: foram percolados em colunas contendo 1 e 3g do BC com granulometria entre 0,250 e 0,125mm . Os analitos foram eluidos com 10 mL de acetona e 10 mL de DCM. Os eluatos reunidos, foram secos em sulfato de sódio anidro; o volume reduzido em um rotaevaporador. Em seguida, derivatizados com MSTFA e análise por GC/MS.

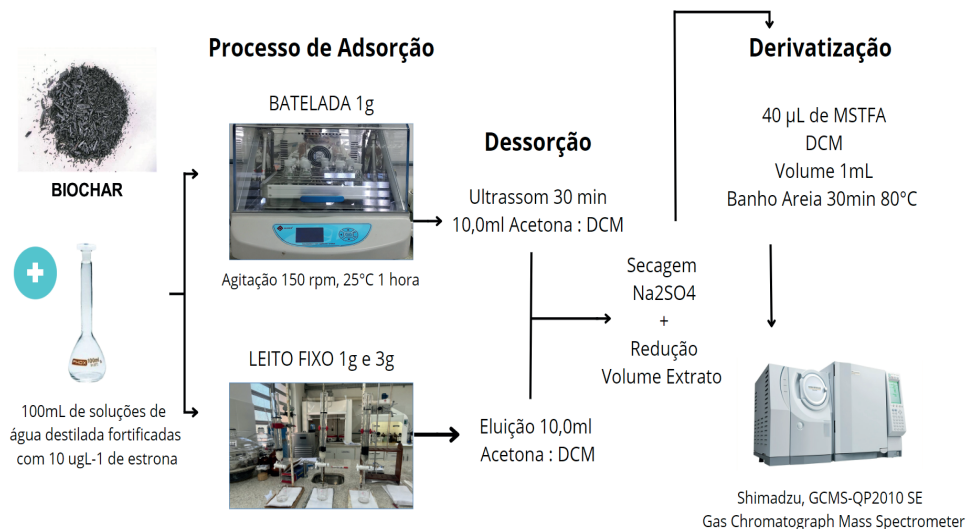


Figura 1 - procedimentos de avaliação da capacidade de adsorção: em batelada -1g de BC e em leito fixo – 1g e 3 g de BC

O estudo foi realizado em cromatógrafo gasoso acoplado a espectrômetro de massas (Modelo QP2010 ULTRA – SHIMADZU) com coluna Rtx-5MS (30,0 m x 0,25 mm d.1. x 0,25 µm). Os espectros de massa foram obtidos no modo SCAN (varredura) onde foi definido como íon de quantificação o 342 m/z e para confirmação 257 m/z .

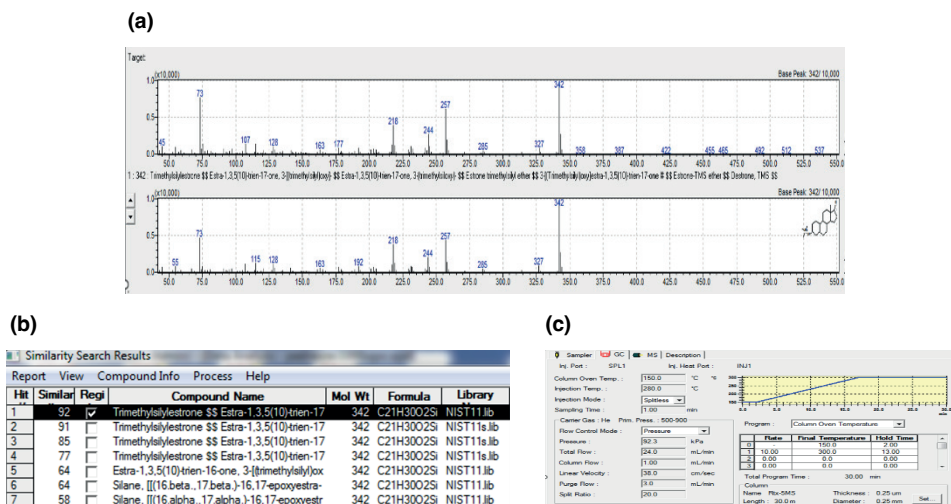


Figura 2 - Shimadzu, GCMS-QP2010 SE - Gas Chromatograph Mass Spectrometer - Comparação espectro SCAN e biblioteca NIST (a); busca similaridade biblioteca NIST (b); parâmetros cromatográficos (c).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quando comparamos o processo em batelada com o em leito fixo com 1 g de BC, o processo em batelada mostrou-se mais eficiente na remoção da estrona, com uma recuperação de 32,2% em comparação aos 21,5% do leito fixo, devido a maior área superficial e tempo de contato. Quando em leito fixo aumentada a massa para 3g observa-se um incremento na recuperação, 21,5% para 82,7%. Demonstrando o potencial do BC na remoção deste tipo de analito e possível desenvolvimento de sistema eficiente de filtros. O desvio padrão relativo de 9,2 aponta para um processo reprodutível (preciso). Observa-se que a escolha do método a ser utilizado interfere diretamente na recuperação destes contaminantes.

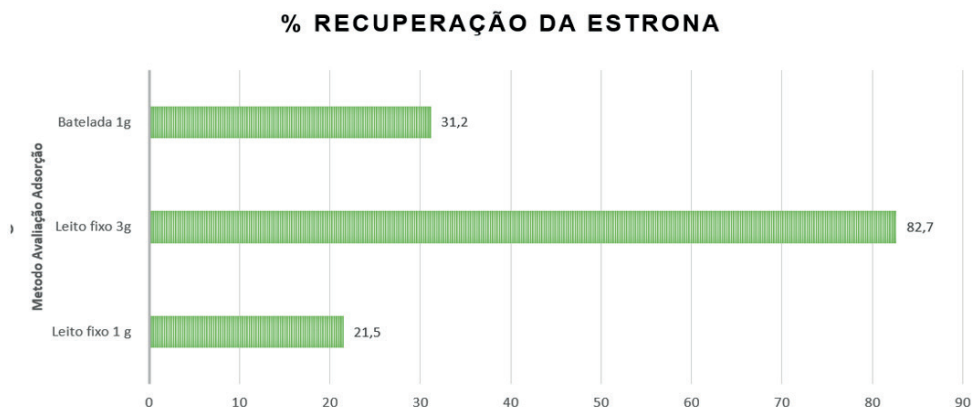


Figura 3 - comparação entre diferentes métodos de adsorção de amostras fortificadas  $10 \mu\text{g L}^{-1} \pm 9,2\%$  RSD.

Os resultados mostraram concordância com aqueles parâmetros exigidos pela agência de proteção ambiental dos estados unidos (EPA, 2007). O equipamento apresentou uma resposta linear das curva construída, com coeficientes de correlação com resultados superiores a 0,9, o que também considera o método adequado, validando-o (INMETRO, 2020). Sendo que, os analitos foram avaliados na faixa de  $\mu\text{g L}^{-1}$  que admite RSD% até 20% (INMETRO,2020).

Analisando os resultados para o coeficiente angular (a), observou-se uma maior sensibilidade do método analítico, em especial para a oxibenzona,  $\beta$ -estradiol e estriol. A exatidão e precisão apresentaram-se aceitáveis para todos os analitos, com ER% entre 4,5 e 10,0% e RSD% entre 3,2 e 10,8%. Sendo que, os analitos foram avaliados na faixa de  $\mu\text{g L}^{-1}$  que admite RSD% até 20% e ER% de até 15% (INMETRO,2020).

## CONCLUSÃO

Os resultados apresentados são o primeiro passo de uma pesquisa promissora. Demonstrando uma importante aplicação para um material de baixo custo e alto valor agregado como a casca de arroz proveniente do beneficiamento, que gera resíduos agroindustriais de difícil degradação e prejudiciais ao meio ambiente.

## AGRADECIMENTOS

O estudo contou com apoio do Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSUL), e IRGOVEL-Indústria Riograndense de Óleos Vegetais Ltda e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) (Processo 20/2551–0000437-6), que proporcionou apoio financeiro e bolsa de estudos, a quem agradecemos o apoio prestado.

## REFERÊNCIAS

- BASTOS, Cristiano. Os velhos problemas e os novos vilões das águas gaúchas. Serie Rios gaúchos, Parte 1. 2021. Jornal Extraclasse. Disponível em: <https://www.extraclasse.org.br/ambiente/2021/09/os-velhos-problemas-e-os-novos-viloes>.
- EPA – United States Environmental Protection Agency Office of Water Office of Science and Technology Engineering and Analysis Division (2007). Method 1698. Steroids and Hormones in Water, Soil, Sediment, and Biosolids by HRGC/HRMS.EPA-821-R-08-003, 64p.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO. Orientação sobre validação de métodos analíticos. 2020. 30p.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/arroz/rs>
- MEDRONHA, G. A.; MILANI, I.C.B.; SOUZA, F. S.; BONCZYNSKI, R.; JUNIOR, R. D.; SUZUKI, L. E. S.; PRÁ, M. D.; COLLARES, G. L. Avaliação da qualidade da água do Canal São Gonçalo RS através do índice de qualidade de água. In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Bento Gonçalves, 2013. Disponível em: <[https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/66/SBRH2013\\_PAP013208.pdf](https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/66/SBRH2013_PAP013208.pdf)>
- NARCHI, NEMER E. La playa donde prendí a bucear: despojo marino y economías azules em la escaa local. Revista de Educação Ambiental, v.24, n.2, 2019. ISSSN – 1413-8638; E-ISSN – 2238-5533.
- PINTANEL, R.; CECCONELO, S.T.; CENTENO, L.N. Análise da correlação entre os indicadores de saneamento básico e as doenças de veiculação hídrica em municípios do sul do Rio Grande do Sul. Revista Ambientale, 2021, a.13, v. 1, Revista da Universidade do Alagoas.
- RODRIGUES, A.S; FIGUEREDO, A.M.; SANTOS, E.P.; LIMA, E.M.S.; SOUZA, K.S.; SOUZA, P.F.; SOUZA, T.C.X; SILVA, D.F.M.; NOLÊTO, R.G.L.; FREITAS, R.C.A.; MAGALHÃES, M.C.; SOUZA, E.M. Plantas aquáticas na fitorremediação da água contaminada no município de São João do Piauí. Revista Educação Ambiental em Ação, nº70, 2020. Disponível em: <http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=3910>.
- TEIXEIRA, Rossana Borges et al. Determination of estrogenic hormones in sewage and effluent of a decentralized sewage treatment plant by activated sludge. Revista Ambiente & Água, v. 13, 2018

# MERCURY DETERMINATIONS IN BIOHAZARD SAMPLES BY GFAAS USING NOVIPLEX CARD SAMPLING

*Data de aceite: 01/07/2024*

### **Emerson Carlos de Almeida**

São Paulo State University (UNESP),  
Institute of Biosciences  
Botucatu-SP, Brazil  
<http://lattes.cnpq.br/2674043855748362>

### **Nubya Gonçalves Cavallini**

São Paulo State University (UNESP),  
Institute of Biosciences  
Botucatu-SP, Brazil  
<http://lattes.cnpq.br/0884781347225793>

### **Joyce Andrade da Silva**

São Paulo State University (UNESP),  
School of Veterinary Medicine and Animal  
Science  
Botucatu, Brazil  
<http://lattes.cnpq.br/6192584191230009>

### **Luane Benedita Gonçalves Andrade**

São Paulo State University (UNESP),  
School of Veterinary Medicine and Animal  
Science  
Botucatu, Brazil  
<http://lattes.cnpq.br/6002986533932905>

### **Camila Pereira Braga**

University of Nebraska (UNL), Lincoln,  
United States of America  
<http://lattes.cnpq.br/8569919683659235>

### **Jiri Adamec**

LSUHSC - School of Medicine, New  
Orleans, United States of America  
<http://lattes.cnpq.br/6131242503058107>

### **Pedro de Magalhães Padilha**

São Paulo State University (UNESP),  
Institute of Biosciences  
Botucatu-SP, Brazil  
São Paulo State University (UNESP),  
School of Veterinary Medicine and Animal  
Science  
Botucatu, Brazil  
<http://lattes.cnpq.br/6981448637456391>

**ABSTRACT:** This paper presents a new method for sampling biohazard samples (mercury-contaminated human and fish blood/plasma and muscle and liver tissue homogenates) using percolation on Noviplex cards for total mercury determination by graphite furnace atomic absorption spectrometry (GFAAS). For the sampling process, 50  $\mu\text{L}$  of the biological samples was percolated onto the sampling disk of the Noviplex card. Three minutes after percolation of the sample aliquot, the sample adsorbed on the card-sampling disk was already dry and showed stability at



room temperature for six months. After the sampling process, the card sampling discs with the percolated samples were mineralized in an acidic medium containing 18 mol L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and 0.02 mol L<sup>-1</sup> KMnO<sub>4</sub> in a 1.0:0.50 (v/v) ratio. Mercury determinations of the acid extracts were performed via GFAAS by injecting 15 μL of sample + 5 μL of zirconium nitrate (chemical modifier) into the graphite tube of the spectrometer, in which the inner wall was coated with tungsten carbide (permanent chemical modifier). The reaction conditions provided thermal stabilization of mercury at atomization temperatures up to 1700 °C. The method was validated for total mercury determinations with extracts from DORM-4 and DOLT-4 reference materials. The calculated LOD and LOQ ranged from 12 to 43 μg kg<sup>-1</sup>, respectively. The sampling method proved to be quite robust to mercury determinations in biohazard samples.

**KEYWORDS:** Noviplex cards, mercury in biological samples, electrothermal atomization, chemical modifier.

## INTRODUCTION

Mercury is a highly toxic element that is dangerous, responsible for environmental contamination and human intoxication, and is considered a global pollutant [1]. It is known that during the colonial period in Spanish America and later in North America, mercury was widely used in amalgamation processes for gold and silver mining [2]. Intoxication symptoms related to mercury exposure in humans vary depending on the mercury chemical form to which they are exposed, which can cause serious to irreversible damage to the urinary, respiratory, immune, reproductive and central nervous systems [3-8].

Sample collection and preparation is one of the most important steps in the process for monitoring mercury toxicity in biological samples. In recent decades, several strategies for sample preparation and subsequent mercury determinations have been published [9-16]. However, the difficulties related to sampling of biological materials *in situ* and subsequent determination by manipulating the sample as little as possible have not yet been overcome.

In this context, the *Noviplex*<sup>™</sup> card system developed by Kim and collaborators [17] is an innovative biological fluid collection device that can be used to collect blood aliquots and/or biological extracts. Its viability lies in the sophisticated collection method, which does not require special bottles, equipment, or refrigeration, and in the ability to transport samples without losing the physical and chemical properties of the material. An absorbent disc is saturated with the sampled biological fluid and percolation occurs within three minutes through capillary action, making it possible to transport the cards economically and with minimal biohazard risk to a central laboratory for further analysis, e.g., for mercury.

To overcome the difficulties of mercury sampling, the present study is designed to optimize and validate sampling processes for blood/plasma and homogenates of muscle and liver tissue from mercury-contaminated fish by using the *Noviplex*<sup>™</sup> card system. The card sampling disks are subjected to mineralization by using an acid mixture with chemical modifiers and then used for mercury quantification by GFAAS.

## MATERIAL AND METHODS

### Sampling procedures with Noviplex cards

The Chico Mendes Institute for Biodiversity Conservation and Authorization and Information System on Biodiversity (ICMBio; Ref. SISBIO 43890-1), Committee on Ethics in the Use of Animals (CEUA), protocol number 0186/2017 and National Research Ethics Commission - NREC, under CAAE No. 43167420.7.0000.5411, authorized this research.

### Blood

The sampling procedure was utilized with fish species from the Madeira River, Rondônia/Brazil, which is contaminated by mercury, and with volunteers from the riverside population of the Jirau region - Madeira River, Rondônia/Brazil. After collecting the fish, aliquots of blood were collected from the tails of the animals at the collection site (still on the boat) and percolated onto the sampling disks of the Noviplex cards. The collected aliquots of blood (50  $\mu\text{L}$ ) were applied directly to the “test area” on the top layer of the Noviplex card extraction plate. After approximately one minute, a “checkpoint” on the side of the application site changed from white to red, indicating that lateral spreading had occurred and that there was a sufficient volume for the application. After three minutes, the top layer of the extraction plate was peeled off to expose the collection disk, which was adhered to a base plate and contained the stored sample. The sample on the collection disk was dried for approximately 15 minutes and stored at room temperature for further analysis [17]. In total, 24 blood samples were collected from each fish species and humans (volunteers from the riverside population Madeira River).

### Plasma eluates and muscle and liver tissue homogenates

Samplings of muscle and liver tissue homogenates were performed by using the following procedure: Approximately 40 mg samples were collected from muscle and/or liver tissue pools of each fish species and homogenized in 500  $\mu\text{L}$  of buffer NP-40 (50 mmol  $\text{L}^{-1}$  NaCl – Merck, 50 mmol  $\text{L}^{-1}$  Tris-HCl - GE Healthcare, pH 8) and centrifuged for 10 minutes at 10,000 rpm and 4 °C, from which the protein extracts were obtained. Subsequently, 50  $\mu\text{L}$  aliquots of protein extract were transferred to the Noviplex card collection disk and allowed to dry for 15 minutes. This procedure was also adopted for plasma elution from the disks of the Noviplex cards used in the collection of blood samples. In total, 12 cards were prepared per pool of protein extracts (muscle and liver) from each fish species. The cards were stored at room temperature until further analysis. For the plasma samples, of the 24 Noviplex cards used in sampling the blood of fish and humans, 12 were used for plasma elution from the Noviplex card sampling discs. Validation of the sampling methodology using Noviplex cards

for determination of total mercury in biological fluid was carried out with extracts from trace metal reference materials DORM 4 - fish protein and DOLT 4 - fish liver, which were certified by the National Research Council Measurement Science and Standards, Ottawa/Canada to contain  $0.410 \pm 0.055 \text{ mg kg}^{-1}$  and  $2.58 \pm 0.22 \text{ mg kg}^{-1}$  of total mercury, respectively.

### **Mineralization process with Noviplex card sampling discs and plasma eluates**

For determinations of total mercury in the blood samples, plasma eluates and muscle and liver tissue homogenates of the fish were collected on Noviplex cards, acid mineralization of the sampling discs and plasma eluates was carried out with an oxidizing mixture containing  $18 \text{ mol L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$  (Merck) +  $0.02 \text{ mol L}^{-1} \text{ KMnO}_4$  (Merck) in a 1.0:0.5 (v/v) ratio while heating in the range  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  to  $120 \text{ }^\circ\text{C}$  in a digester block until the extracts were transparent and showed a light purple color. The acid extracts obtained were transferred to 5 mL volumetric flasks, diluted with ultrapure water ( $18.2 \text{ MW cm}^{-1}$ ) obtained from a PURELAB Ultra ELGA purification system. Subsequently, the total mercury concentrations in the extracts were determined by GFAAS according to the procedure described in Section 2.3.

### **Total mercury determination**

Total mercury determinations for acid extracts obtained via mineralization of the sampling disks from the Noviplex cards were carried out by GFAAS using a SHIMADZU model AA-6800 atomic absorption spectrometer equipped with a background absorption corrector with a deuterium lamp, a pyrolytic graphite integrated platform and an ASC-6100 autosampler. A SHIMADZU mercury hollow cathode lamp was used with a current of 12 mA. The wavelength was 253.7 nm, and the spectral resolution was 0.5 nm. Argon was used as the inert gas, and a constant flow of  $1 \text{ L min}^{-1}$  was maintained throughout the heating program, except during the atomization step, when the gas flow was interrupted. Absorbance signal peak areas were measured. The pyrolytic graphite tubes with the integrated platforms used for mercury determinations had their internal walls coated with tungsten to increase their useful life according to the procedure described by Silva *et al.* [18].

### **Analytical curve preparation**

An analytical curve was prepared by using a Merck standard mercury stock solution and subsequent dilutions to obtain total mercury concentrations ranging from 0.25 to  $2.00 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ . Zirconium nitrate was added to the standard solutions to give final concentrations of  $20 \text{ mg L}^{-1}$  zirconium, which acted as a chemical modifier [19]. Then,  $20 \text{ } \mu\text{L}$  of the standard solution was injected into the graphite tube of the spectrometer coated with tungsten carbide [18] by using a micropipette of the autosampler. Absorbance measurements were performed in triplicate. The graphite tube heating program optimized for mercury determination is described in Table 1.

Steps	Temperature (°C)	Stages		Argon Flow (L min <sup>-1</sup> )
		Ramp (s)	Heating (s)	
Drying	90	5	5	1
Drying	120	5	5	1
Pyrolysis	400	6	6	1
Pyrolysis	800	6	10	1
Atomization	1700	3	0	0
Cleaning	1900	5	5	1

Table 1. Graphite tube heating program optimized for determination of mercury in acid extracts obtained from mineralization of sampling disks from Noviplex cards.

## Analytical procedures for sample analyses

The total mercury determinations used 20  $\mu\text{L}$  aliquots obtained by mixing 10  $\mu\text{L}$  of the acid extract from the Noviplex card-sampling disc with 4  $\mu\text{L}$  of 100 mg L<sup>-1</sup> zirconium nitrate and 6  $\mu\text{L}$  of ultrapure water. The 20  $\mu\text{L}$  aliquots were injected into the graphite tube coated with tungsten carbide using the spectrometer [15, 16]. Measurements were made with three repetitions and used the graphite tube heating program shown in Table 1.

## Statistical analyses

The results of the mercury determinations were expressed as the mean  $\pm$  standard deviation and analyzed with Student's t test and the F test in SAS statistical software version 8 to verify significant differences. The level of significance used was 5% ( $P < 0.05$ ) [15, 16, 20].

## RESULTS AND DISCUSSION

### Optimization of instrumental parameters

The mercury thermal stabilization temperatures used for pyrolysis of acid extracts obtained from mineralization of the Noviplex card sampling disks and in the mercury atomization process were investigated. For this, the absorbance signals obtained for mercury in a standard solution containing 1.10  $\mu\text{g L}^{-1}$  and in the acid extracts of the samples were compared. The results are shown in Figure 1.

Fig. 1a

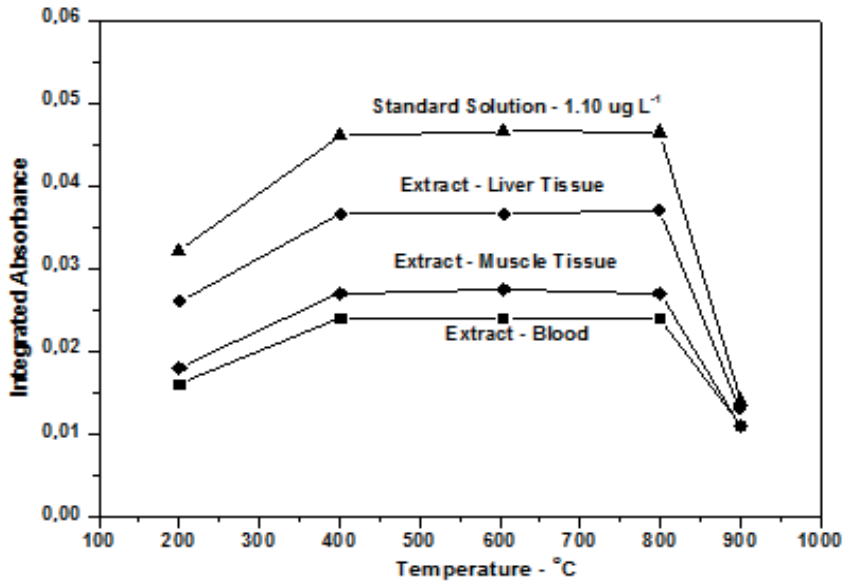


Fig. 1b

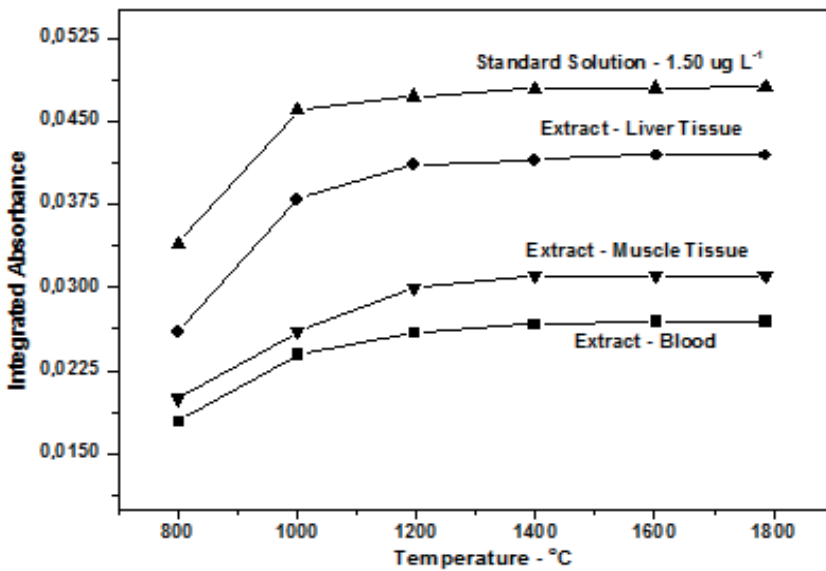


Figure 1. Pyrolysis and atomization curves obtained for acid samples extracted from Noviplex card sampling discs and from a standard solution containing 1.10 µg L<sup>-1</sup> mercury.

A pyrolysis temperature of 700 °C was chosen because, as shown in Figure 1a, the absorbance signals obtained for mercury remained constant above 400 °C and exhibited rapid decreases after treatment above 800 °C, which indicated that other components of the sample solution and/or standard solution were pyrolyzed (Moraes et al. 2013). Regarding the atomization temperature (Figure 2.b), it was observed that the absorbance peaks obtained for mercury were constant after heating within the range 1300 °C to 1800 °C. Considering this, the atomization temperature chosen was 1700 °C. The good thermal stability of mercury obtained in these experiments demonstrated the efficiency of zirconium nitrate, which acted as a chemical modifier.

It is possible that the gradual increase in temperature (1000-1800 °C) caused formation of intermetallic bonds between mercury and zirconium during reduction of Hg to the elemental state, which would require a significant increase in the temperature of mercury volatilization and, consequently, of the atomization temperature [18, 19, 20]. In addition, it should be noted that in mineralization of the Noviplex card sampling disks, the extracts showed a slightly purple color, indicating the presence of permanganate ions in the solution. Thus, in the graphite tube heating process, the permanganate ions were reduced to MnO<sub>2</sub>, which, together with the tungsten carbide film deposited on the graphite tube wall (permanent chemical modifier), may have contributed to the thermal stabilization of mercury.

### Optimization of the analytical curve

After optimizing the pyrolysis and atomization temperatures, an analytical curve was obtained for concentrations ranging between 0.25 and 2.00 µg L<sup>-1</sup>. The analytical curve for mercury is shown as Equation 1 (with a linear correlation coefficient of 0.9990):

$$\text{Conc. (Hg - } \mu\text{g L}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Abs.} - 0.00086}{0.05106} \quad (1)$$

The absorbance values obtained for the mercury standards (n=3) showed good repeatability and reproducibility (relative standard deviations less than 2%), which reinforced the efficiency of adding zirconium nitrate/manganese dioxide/tungsten carbide as chemical modifiers for thermal stabilization of mercury during pyrolysis and atomization with the heating program used. The characteristic mass calculated for the 1.50 µg L<sup>-1</sup> of mercury standard was 1.93 pg, and the limits of detection (LOD) and quantification (LOQ) for mercury were 0.016 and 0.052 mg L<sup>-1</sup>, respectively; these were calculated by considering the standard deviation from 10 measurements of the blank and standard solutions and the slope of the analytical curve (LOD = 3s/slope and LOQ = 10s/slope) [21]. The lifetime of the graphite tube was equivalent to 467 burns, which confirmed that the mineralization method used with the disks of the Noviplex cards and the eluates of the plasma samples was efficient for digestion of organic matter and preserved the analyte contained in the aqueous extract.

## Application of the proposed method in total mercury determinations

The sampling method using Noviplex cards was applied to total mercury determinations for a pool of blood samples and extracts from muscle and liver tissue from corvina, jaraqui, pirarucu, piranha preta and tambaqui fish species from the Amazon region and for blood samples from the riverside population of the Jirau/Rondônia region located on the margins of the Madeira River in the Brazilian Amazon, a region highly impacted by mercury due to gold mining) [20]. Validation of the method was performed with mercury determinations for extracts from the trace metal reference materials DORM 4 – fish protein and DOLT 4 – fish liver. The results are summarized in Tables 2 and 3.

Samples	Jaraqui fish <sup>a</sup> ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )	Piranha Preta fish <sup>a</sup> ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )	Pirarucu fish <sup>a</sup> ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )	Corvina fish <sup>a</sup> ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )	Tambaqui fish <sup>a</sup> ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )	Certified materials <sup>a</sup> ( $\text{mg kg}^{-1}$ )
Muscle	66±1.12	272±5.20	189±3,30	72±1.30	62±1.11	
Liver	113±2.03	470±8,35	341±6.05	283±5.10	202±3.60	
Plasma	4.40±0.08'	6.60±0.11'	5.10±0.08'	5.70±0.09'	4.60±0.08'	
Blood	5.46±0.09'	8.20±0.14'	6.30±0.11'	7.10±0.12'	5.60±0.10'	
DORM-4	-	-	-	-	-	0.402±0.007
DOLT-4	-	-	-	-	-	2.54±0.04

Average value ± standard deviation (n = 6); Concentration – ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )

Table 2. Results obtained for mercury determinations with pooled extracts from blood and plasma samples and muscle (MT) and liver (LT) tissues of Amazon fish species and from the trace metal reference materials *DORM 4* and *DOLT 4*.

Riverside population groups	Blood pool samples <sup>a</sup> ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Plasma pool samples <sup>a</sup> ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )
Group 1	0.84±0,07	0.64±0.05
Group 2	1.17±0,05	0.89±0.04
Group 3	3.43±0,20	2.60±0.14
Group 4	10.0±0,41	7.60±0.27

Average value ± standard deviation (n = 6); Group 1 - feed on fish three times a month, Group 2 - feed on fish three times a week, Group 3 - feed on fish until six times a week, Group 4 - feed on fish every day.

Table 3. Results obtained for mercury determinations with pooled extracts from blood and plasma samples from the riverside population of the Jirau region – Madeira River/Brazilian Amazon – using sampling with Noviplex cards.

The muscle and liver tissues and the blood and plasma samples of the fish species studied showed mercury concentrations ranging from 63 to 470  $\mu\text{g kg}^{-1}$  and 4.40 to 8.20  $\mu\text{g L}^{-1}$ , respectively. These results are in agreement with literature values determined using GFAAS and direct acid mineralization of tissue samples [16, 19, 20, 22 – 24]. The results for mercury determinations of blood samples from the riverside population, the Madeira River/Brazilian Amazon (Table 3), were in the range 0.84 a 10  $\mu\text{g L}^{-1}$ . In the plasma samples eluted from the sampling disks of the Noviplex cards, the concentrations were in the range 0.64 a 7.60  $\mu\text{g L}^{-1}$ ; these concentrations are approximately 24% lower compared to the results obtained for blood samples. It is noteworthy that the total mercury levels determined for the pooled blood and plasma samples showed a gradual increase with increasing frequency of fish ingestion by the volunteers of the riverside population, who were divided into the following groups: *pool 1* - group of volunteers who eat fish three times a month; *pool 2* - group of volunteers who eat fish three times a week; *pool 3* - group of volunteers who eat fish up to six times a week; *pool 4* - group of volunteers who eat fish daily. Thus, a positive correlation was observed between bioaccumulation of mercury and consumption of fish by the volunteers from the riverside population of the Jirau region – the Madeira River/Brazilian Amazon. The values obtained for total mercury concentration in the DORM-4 and DOLT-4 certified materials (Table 3) showed differences of less than 2% when compared to the certified values. Method precision was determined from the relative standard deviations in mercury concentrations determined for the DORM-4 and DOLT 4 NRCs using the HORRAT parameter [25], these values were 1.40% and 1.20%, respectively. The LOD and LOQ calculated by using 20 mg of DROM-4 and/or DOLT-4 NRCs were 12 and 39  $\text{mg kg}^{-1}$  and 13 and 43  $\mu\text{g kg}^{-1}$ , respectively. The mercury values determined for blood/plasma and muscle and liver tissue samples from fish (Table 2) and in human blood/plasma samples (Table 3) were higher than the LOQs of the Noviplex card sampling method, attesting to the viability of the method for sampling biohazardous materials.

## CONCLUSIONS

The sampling procedure used for biohazardous materials (blood plasma from humans, and blood, plasma and extracts from muscle and liver tissues of fish) proved to be effective for determining total mercury by GFAAS after optimizing the experimental conditions of the analysis. The advantage of the proposed method is that there is no need to refrigerate the samples because the volume percolated on the card disk is stable at room temperature; this eliminates the need for complicated logistics to preserve frozen samples. The use of zirconium nitrate/tungsten carbide/manganese dioxide as a chemical modifier provided thermal stabilization of mercury up to the atomization temperature of 1700 °C in determinations by GFAAS, which enabled determination of mercury at ppb levels ( $\mu\text{g L}^{-1}$  and/or  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) in biohazardous materials contaminated with mercury.



## **AUTHORS' CONTRIBUTIONS**

Conceptualization: Emerson C. Almeida and Nubya G. Cavallini; Methodology: Joyce A. Silva, Luane Benedita Gonçalves Andrade and Camila P. Braga, Jiri Adamec and Pedro M. Padilha; Formal analysis and investigation: Jiri Adamec and Pedro M. Padilha; Writing - original draft preparation: Emerson C. Almeida and Nubya Gonçalves Cavallini; Writing - review and editing: Pedro M. Padilha, Camila P. Braga and Jiri Adamec; Funding acquisition: Pedro M. Padilha; Resources: Pedro M. Padilha; Supervision: Pedro de Magalhães Padilha.

## **FUNDING**

The authors are grateful to the following the Brazilian research-funding agencies for financial support: São Paulo Research Foundation-FAPESP, Processes: 2019/02538-4 and 2016/19404-2 (Pedro de Magalhães Padilha), National Council for Scientific and Technological Development–CNPq, Processes: 304768/2018-9 and 404485/2016-2 (Pedro de Magalhães Padilha) and CAPES-Print AUXPE-Process: 88881.3107432018-0.1 (Pedro de Magalhães Padilha).

## **DATA AVAILABILITY**

All data are mentioned in the body of manuscript, tables, and figure.

## **AVAILABILITY OF DATA AND MATERIAL (DATA TRANSPARENCY)**

All raw data will be made available on request.

## **DECLARATION**

## **ETHICS APPROVAL**

The protocols used in this study were approved by: Chico Mendes Institute for Biodiversity Conservation and Authorization and Information System on Biodiversity (ICMBio; Ref. SISBIO 43890-1); Committee on Ethics in the Use of Animals (CEUA), protocol number 0186/2017 and National Research Ethics Commission - NREC, under CAAE No. 43167420.7.0000.5411.

## **CONSENT TO PARTICIPATE**

All volunteer patients (riverside population of the Jirau/Rondônia region - Brazil) agreed to participate of scientific study as stated in the “FREE AND CLEAR CONSENT TERM - FCCT” signed by all and approved by National Research Ethics Commission – NREC (CAAE No. 43167420.7.0000.5411).

## CONSENT FOR PUBLICATION

All volunteer patients (riverside population of the Jirau/Rondônia region - Brazil) agreed to the disclosure of research data in scientific journals as stated in the “FREE AND CLEAR CONSENT TERM - FCCT” signed by all and approved by National Research Ethics Commission – NREC (CAAE No. 43167420.7.0000.5411).

## COMPETING INTERESTS

The authors Emerson C. Almeida, Nubya G. Cavallini, Victor D. Faria, Felipe D. Cirinêu, Joyce A. Silva, José Cavalcante S. Vieira, Marcelo O. Lima, Luiz F. Zara, Camila P. Braga and Pedro M. Padilha declare no competing interests.

The author Jiri Adamec declare is a co-founder Novilytic, Telimmune and Tenax Bioanalytics.

## REFERENCES

1. World Health Organization. Children's Exposure to Mercury Compounds. World Health [Internet]. 2010;1–112.
2. Pfeiffer, WC, Lacerda, LD, Salomons, W, Malm, O (1993) Environment fate of mercury from gold mining in the Brazilian Amazon Environmental Reviews 1:26–37.
3. Bidone, ED, Castilhos, ZC., Santos, TJS, Souza, TMS, Lacerda, LD (1997) Fish contamination and human exposure to mercury in Tartarugalzinho River, Amapá state, Northern Amazon, Brazil. A screening approach. Water, Air and Soil Pollution, 97:9–15.
4. Zahir F, Rizwi SJ, Haq SK, Khan RH (2005) Low dose mercury toxicity and human health. Environ Toxicol Pharmacol. 20(2):351–60.
5. Ceccatelli S, Daré E, Moors M. (2010) Methylmercury-induced neurotoxicity and apoptosis. Chem Biol Interact. 88:301–8.
6. Syversen T, Kaur P (2012) The toxicology of mercury and its compounds. J Trace Elem Med Biol. 26:215–26.
7. Farina M, Avila DS, Da Rocha JBT, Aschner M. (2013) Metals, oxidative stress and neurodegeneration: a focus on iron, manganese and mercury. Neurochem Int. 62(5):575–94.
8. Faial K, Deus R, Deus S, Neves R, Jesus I, Santos E, et al. (2015) Mercury levels assessment in hair of riverside inhabitants of the Tapajós River, Pará State, Amazon, Brazil: fish consumption as a possible route of exposure. J Trace Elem Med Biol. 30:66–76.
9. Bermejo-Barrera, P, Moreda-Piñeiro, J, Moreda-Piñeiro, A, Bermejo-Barrera, A. (1994) Palladium as a chemical modifier for the determination of mercury in marine sediment slurries by electrothermal atomization atomic absorption spectrometry. Analytica Chimica Acta 296:181–193.

10. Gallignani, M., Bahsas, MH, Brunetto, MR., Burguera, M, Burguera, JL, Petit de Peña, Y (1998) A time-based flow injection-cold vapor-atomic absorption spectrometry system with on-line microwave sample pre-treatment for the determination of inorganic and total mercury in urine. *Analytica Chimica Acta* 369:57–67.
11. Bermejo-Barrera, P, Verdura-Constenla, E.M., Moreda-Piñeiro, A, Bermejo-Barrera, A. (1999) Rapid acid leaching and slurry sampling procedures for the determination of methyl-mercury and total mercury in human hair by electrothermal atomic absorption spectrometry. *Analytica Chimica Acta* 398:263–272.
12. Moreda-Piñeiro, L, López-Mahía, P, Muniategui-Lorenzo, S, Fernández-Fernández, E, Prada-Rodríguez, D (2002) Direct mercury determination in aqueous slurries of environmental and biological samples by cold vapour generation–electrothermal atomic absorption spectrometry. *Analytica Chimica Acta* 460:111–122.
13. Torres, AP., Vieira, MA, Ribeiro, AS, Curtius, AJ (2005) Determination of inorganic and total mercury in biological samples treated with tetramethylammonium hydroxide by cold vapor atomic absorption spectrometry using different temperatures in the quartz cell. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 20:289–294.
14. Zhang, Y, Adeloju, SB (2012) Speciation of mercury in fish samples by flow injection catalytic cold vapour atomic absorption spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 721, 22–27.
15. Moraes PM, Santos FA, Cavecci B, Padilha, CCF., Vieira, JCS., Roldan, PS., Padilha, P.M. (2013) GFAAS determination of mercury in muscle samples of fish from Amazon, Brazil. *Food Chemistry* 141:2614–2617.
16. Queiroz J, Vieira JCS, Bataglioli IC, Bittarello AC, Braga CP, Oliveira G, Padilha CCF, Padilha PM (2018) Total mercury determination in muscle and liver tissue samples from Brazilian Amazon fish using slurry. *Biological Trace Element Research*, 184:517-522.
17. Kim JH, Woenker T, Adamec J, Regnier FE (2013) Simple, miniaturized blood plasma extraction method. *Analytical Chemistry* 85(23):11501-11508.
18. McClure FD, Lee J-K (2003) Computation of HORRAT Values. *Journal of AOAC International* 86:1056-1058.
19. Silva FA, Neves RCF, Quintero-Pinto LG, Padilha CCF, Jorge SOMA, Barros MM, Pezzato LE, Padilha PM (2007) Determination of selenium by GFAAS in slurries of fish feces to estimate the bioavailability of this micronutrient in feed used in pisciculture. *Chemosphere* 68:1542–1547.
20. Bittarello AC, Vieira JCS, Braga, CP, Paula Araújo WL, Bataglioli IC, Silva JM, Buzalaf MAR, Fleuri LF, Padilha PM (2019) Characterization of molecular biomarkers of mercury exposure to muscle tissue of *Plagioscion squamosissimus* and *Colossoma macropomum* from the Amazon region. *Food Chemistry* 276:247-254.
21. Bittarello AC, Vieira JCS, Braga CP, Bataglioli IC, Oliveira G, Rocha LC, Zara LF, Buzalaf MAR, Oliveira LCS, Adamec J, Padilha PM (2020) Metalloproteomic approach of mercury-binding proteins in liver and kidney tissues of *Plagioscion squamosissimus* (corvina) and *Colossoma macropomum* (tambaqui) from Amazon region: Possible identification of mercury contamination biomarkers. *Science of the Total Environment*. 711:134547.
22. Currie LA (1999) Nomenclature in evaluation of analytical methods including detection and quantification capabilities (IUPAC Recommendations 1995). *Analytica Chimica Acta* 391:105–126.

23. Braga CP, Bittarello AC, Padilha CCF, Leite AL, Moraes PM, Buzalaf MAR, Zara LF, Padilha PM (2015) Mercury fractionation in dourada (*Brachyplatystoma rousseauxii*) of the Madeira River in Brazil using metalloproteomic strategies. *Talanta* 132:239-244.
24. Vieira JCS, Braga CP, Oliveira G, Lima AL, Queiroz JV, Cavecci B, Bittarello AC, Buzalaf MAR, Zara LF, Padilha PM (2017) Identification of protein biomarkers of mercury toxicity in fish. *Environmental Chemistry Letters* 15:717-724.
25. Bataglioli IC, Souza JCS, Queiroz JV, Silva MF, Bittarello AC, Braga CP, Buzalaf, MAR, Adamec J, Zara LF, Padilha PM (2019) Physiological and functional aspects of metal-binding protein associated with mercury in the liver tissue of pirarucu (*Arapaima gigas*) from the Brazilian Amazon. *Chemosphere* 236:124320.
26. Horwitz W, Albert R (1997) The concept of uncertainty as applied to chemical measurements. *Analyst* 122:615–617.

**CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA:** Técnico em Química pelo Colégio Profissional de Uberlândia (2008), Bacharel em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2010), Licenciado (2011) e Bacharel em Química Industrial (2023) pela Universidade de Uberaba (UNIUBE), em Ciências Biológicas (2021) e em Física (2022) pela Faculdade Única de Ipatinga (FUNIP). Especialista em Metodologia do Ensino de Química e em Ensino Superior pela Faculdade JK Serrana em Brasília (2012), especialista em Ensino de Ciências e Matemática pelo Instituto Federal do Triângulo Mineiro (2021), especialista em Ciências Naturais e Mercado de Trabalho (2022) pela Universidade Federal do Piauí (UFPI) e especialista em Química Analítica pela Faculdade Metropolitana do Estado de São Paulo (FAMEESP) em 2024. Mestre (2015) e doutor (2018) em Química Analítica pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Realizou o primeiro estágio Pós-Doutoral (de maio de 2020 a abril de 2022) e cursou o segundo estágio (2022-2024) na UFU com ênfase na aplicação de novos agentes oxidantes utilizando radiação solar para remoção de Contaminantes de Preocupação Emergente (CPE) em efluentes de uma estação de tratamento de esgoto. Atuou como técnico em laboratório/Química pelo Instituto Federal de Goiás (2010-2022), químico e responsável técnico pelos laboratórios da Unicesumar/Polo Patrocínio e professor do SENAI de Minas Gerais e Goiás. Atualmente é professor de química do Colégio Militar do Tocantins em Araguaína/TO. Atuando nas seguintes linhas de pesquisa: (i) Desenvolvimento de novas metodologias para tratamento e recuperação de resíduos químicos gerados em laboratórios de instituições de ensino e pesquisa; (ii) estudos de acompanhamento do CPE; (iii) Desenvolvimento de novas tecnologias avançadas para remoção de CPE em diferentes matrizes aquáticas; (iv) Aplicação de processos oxidativos avançados ( $H_2O_2/UV\ C$ ,  $TiO_2/UV\ A$  e foto-Fenton e outros) para remoção de CPE em efluentes de estação de tratamento de efluentes para reuso; (v) Estudo e desenvolvimento de novos bioadsorventes para remediação ambiental de CPE em diferentes matrizes aquáticas; (vi) Educação Ambiental e; (vii) alfabetização científica e processos de alfabetização na área de Ciências Naturais, especialmente biologia e química. É membro do corpo editorial da Atena Editora desde 2021 e já organizou mais de 80 e-books e publicou 42 capítulos de livros nas diferentes áreas de Ciências da Natureza, Engenharia Química e Sanitária/Ambiental, Meio ambiente entre outras áreas.

**A**

Adsorção 9, 11, 12, 13

Amostragem 4

Amostras 4, 5, 6, 7, 13

Analitos 7, 8, 11, 13

*Analytical curve* 18, 21

Aplicativo 1, 2

Aqua 1, 2

Arroz 10, 11, 14

**B**

Biochar (BC) 10, 11

Biodiversidade 3, 10

*Biohazardous materials* 23

*Biological samples* 15, 16, 26

**C**

Casca de arroz 10, 11, 14

Conservação ambiental 10

Contaminantes emergentes 3, 10

Corpos d'água 1, 2

Cromatografia Gasosa acoplada a Espectrometria de Massas (GC/MS) 11

Curva de calibração 6

**E**

Educação ambiental 1, 10, 14, 28

Efluentes de esgoto 5

Efluentes domésticos 10

*Environmental contamination* 16

Esgotamento sanitário 3, 10

Espectros de massa 12

Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) 5, 28

Estradiol 10, 13

Estriol 10, 13

Estrona 10, 11, 13

**F**

Filtração 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11

*Fish* 15, 16, 17, 18, 22, 23, 25, 26, 27

**G**

Georreferenciamento 1

Granulometria 11

*Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry (GFAAS)* 15

*Graphite tube* 16, 18, 19, 21

**H**

Hormônios 8, 10

**L**

Lagoa de estabilização 5

**M**

*Madeira River* 17, 22, 23, 27

Mananciais 2

Meio ambiente 14, 28

*Mercury* 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27

Método analítico 7, 8, 13

Monitoramento 1, 2

**N**

Nascentes 3, 10

*Noviplex cards* 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23

**O**

Octocrileno 3, 4, 6

Oxibenzona 3, 4, 6, 7, 13

**P**

Procedimentos Operacionais Padrão (POPs) 2

Protetores solares 3

**Q**

Qualidade da água 1, 14

Questões ambientais 1

**R**

Recursos hídricos 3, 10, 14

Resíduos sólidos 5

Rios 1, 2, 3, 10, 14

**S**

Saneamento básico 3, 10, 14

Saúde humana 3, 10, 11

Sistema endócrino 10

Sustentabilidade 10


**T**

Temperatura 4, 11



# QUÍMICA E BIOQUÍMICA:

fundamentos e aplicações 4

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

 Atena  
Editora

Ano 2024

# QUÍMICA E BIOQUÍMICA:

fundamentos e aplicações 4

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)